

DOI: 10.15276/EJ.03.2025.17
DOI: 10.5281/zenodo.17243457
UDC: 658.012.2
JEL: C63, R41, D81, M21

МАТЕМАТИЧНІ ІНСТРУМЕНТИ ЕКОНОМІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДІЯЛЬНОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ КОМПАНІЙ

MATHEMATICAL TOOLS FOR ECONOMIC DIAGNOSTICS OF LOGISTICS COMPANIES' ACTIVITIES

Zoia M. Sokolovska, Doctor of Economic Sciences, Professor
Odessa Polytechnic National University, Odessa, Ukraine
ORCID: 0000-0001-5595-7692
Email: nadin_zs@te.net.ua

Received 28.08.2025

Соколовська З.М. Математичні інструменти економічної діагностики діяльності логістичних компаній. Науково-методична стаття.

Стаття представляє імітаційне моделювання, як один з математичних інструментів економічної діагностики діяльності логістичних компаній. Доводиться доцільність застосування різних парадигм імітації та їх комбінацій для розв'язання широкого кола логістичних задач. Представлено модель діагностики основних економічних результатів діяльності логістичної компанії на задану експериментатором перспективу, побудовану на основі комбінації двох парадигм імітації – дискретно-подієвої та агентної – на програмній платформі системи багатопідходного імітаційного моделювання AnyLogic. Можливості здійснення економічної діагностики з використанням розробленої моделі проілюстровані фрагментами результатів стандартних та варіаційних імітаційних експериментів, проведених за матеріалами логістичної компанії Grant Logistic Group.

Ключові слова: логістична компанія, економічна діагностика, математичні інструменти, імітаційні моделі, дискретно-подієвий підхід, агентний підхід, імітаційні експерименти

Sokolovska Z.M. Mathematical Tools for Economic Diagnostics of Logistics Companies' Activities. Scientific and methodical article.

The article presents simulation modeling as one of the mathematical tools for economic diagnostics of the activities of logistics companies. The expediency of using various paradigms of imitation and their combinations to solve a wide range of logistics problems is proved. A model for diagnosing the main economic results of the logistics company's activities for the perspective set by the experimenter, built on the basis of a combination of two simulation paradigms – discrete-event and agent-based – on the software platform of the AnyLogic multi-approach simulation modeling system is presented. The possibilities of carrying out economic diagnostics using the developed model are illustrated by fragments of the results of standard and variational simulation experiments conducted based on the materials of the logistics company Grant Logistic Group.

Keywords: logistics company, economic diagnostics, mathematical tools, simulation models, discrete-event approach, agent-based approach, simulation experiments

Логістика відіграє важливу роль у вітчизняній економіці та є одним з суттєвих факторів підвищення її конкурентоспроможності. Широкий спектр логістичних операцій, пов'язаних з транспортуванням й складуванням вантажів, управлінням запасами, інформаційною підтримкою процесів управління розгалуженими логістичними мережами, обумовлюють складний технологічний рівень галузі.

На сучасному етапі розвитку вітчизняна логістична галузь зазнає суттєвих проблем та перешкод. З початку війни значно зруйновані традиційні логістичні мережі, налагоджені маршрути; пошкоджена або зовсім зруйнована складська інфраструктура. Ускладнення у доставці вантажів призвели до збільшення витрат логістичних компаній та значного підвищення ризиків.

Хоча на поточному етапі логістичні компанії знаходять нові шляхи підвищення ефективності власної діяльності; здійснюється активна переорієнтація ланцюгів постачання; відновлюється складська інфраструктура; визначаються надійні перевізники; відновлюються автомобільні та залізничні колії, важливою проблемою зостається загальна економічна нестабільність. Зростання тарифів на транспортування вантажів, вартості матеріалів, гіперінфляція знижують купівельні можливості підприємств-виробників, фірм та фізичних осіб – потенційних клієнтів логістичних компаній. Зменшення клієнтів та зростання собівартості перевезень (зокрема, має місце збільшення вартості фрахту) робить логістичний бізнес менш рентабельним.

Все це висуває в перший ряд необхідність роботи з наявними ланцюгами постачання, а саме створення резервних/альтернативних ланцюгів, їх оптимізацію; розбудову сучасних хабів. Незважаючи на те, що наведені операції потребують значних інвестицій, наприкінці це зменшує ризики, що, безумовно, позитивно вплине на доходність логістичних компаній.

Одним з актуальних напрямків залучення інвестицій є інфраструктурні проекти: наприклад, будівництво складських хабів класу А або відновлення й модернізація транспортної інфраструктури (відновлення зруйнованих доріг, комплексна розбудова нових логістичних мереж).

На форумі з логістики (Ukrainian Logistics Forum 2025) фахівцями визначалося, що основні показники галузі починають відновлюватися, а саме [1]:

- динаміка загального вантажообігу у 2024 році порівняно з 2023 роком зросла майже на 16% (однак це становило 65% порівняно з 2021 р.)
- приблизно на 5% зросли місячні перевезення агропродукції восени 2024 р. (порівняно з аналогічними періодами 2023 року);
- прискорюється відновлення ринку внутрішніх перевезень;
- вакантність складів у 2024 році становила 3,1%, а дефіцит на ринку овочесховищ дістав 40%.

В якості факторів впливу на галузь в минулому році фахівці назвали зменшення довіри та посилення контролю; брак персоналу; продовження зростання цін; перші симптоми перенасичення галузі; вихід на хитку рівновагу.

Форум визначив також актуальні тренди подальшого розвитку галузі, серед яких одним з основних є вектор автоматизації та цифровізації логістичних операцій; підвищення рівня управління логістичною інфраструктурою.

Значна увага приділяється логістичним компаніям, як одним з важливих ланок логістичного процесу. Підвищення ефективності управління ними та досягнення сталого розвитку є важливим аспектом зростання конкурентоспроможності галузі загалом. Останнє набуває особливого сенсу в умовах євроінтеграції.

Зокрема, фахівці визначають необхідність посилення підтримки будь-яких управлінських рішень на базі проведення комплексного аналізу діяльності підприємств галузі, здійснення обґрунтованих прогнозів; визначення стратегій розвитку та перспективних інфраструктурних проектів на базі аналітики великих даних (BigData). В свою чергу, це можливо тільки із залученням потужної математичної бази, сучасних інформаційних технологій, засобів штучного інтелекту.

Здійснення економічної діагностики діяльності логістичних компаній потребує залучення спеціального математичного апарату досліджень. Це стосується не тільки проведення ретроспективного аналізу, але й прогнозного аналізу на різну часову перспективу. Необхідність гнучкої оцінки різнопланових впливів на кінцеві показники діяльності логістичних компаній; розробка перспективних стратегій; прийняття як стратегічних, так і оперативних/коригуючих управлінських рішень потребує й відповідного інструментарію.

На поточному етапі розвитку математична база прийняття управлінських рішень в галузі логістики є потужною та різноманітною. Вона охоплює широкий спектр задач – від оптимізації маршрутів постачання вантажів до моделей управління складськими операціями; від ретроспективного аналізу діяльності логістичних компаній до прогнозування їх динаміки на різну перспективу. До цього залучаються методи, що належать до різних розділів математики, до різних напрямків економіко-математичного моделювання.

Від того, наскільки обґрунтовано використано той чи інший метод залежить й достовірність отриманих результатів.

В останні десятиліття особливого розвитку дістали такі напрямки, як імітаційне моделювання та методи нечіткої логіки й заснований на них штучний інтелект.

На даний час імітаційні моделі мають значне впровадження в різних сферах логістики. Водночас, коло їх застосування може бути суттєво розширено за рахунок багатьох напрямків, до одного з яких належить моделювання діяльності логістичних компаній.

На сьогодні імітаційне моделювання – це комплекс різних парадигм імітації, серед яких основними є наступні:

- дискретно-подієвий підхід;
- агентний підхід;
- системна динаміка.

Фактично будь-який з наведених підходів може бути застосований до розв’язання задач логістики згідно з необхідним рівнем деталізації процесів, що підлягають моделюванню:

1. Якщо мова йде про значну деталізацію, наприклад, ретельне дослідження ланцюгів постачання або технології обробки замовлень клієнтів, які звернулися до логістичної компанії, доцільно використовувати дискретно-подієву парадигму.

2. Якщо йдеться про узагальнене дослідження функціонування логістичних процесів/систем, то достатньо обґрунтованим є залучення системної динаміки. Цей підхід є доцільним, наприклад, в процесах розробки стратегічних рішень: загальна стратегія логістичної компанії, її інвестиційна стратегія; вивчення динаміки розвитку бізнес-процесів компанії на перспективу тощо.

3. Агентний підхід використовується, коли експериментатор має справу з сутностями, що рухаються у просторі й часі. Це можуть бути клієнти компанії, компанії-конкуренти, замовлення на перевезення вантажів, транспортні одиниці, одиниці вантажу та т. і.

У зв'язку з тим, що в управлінні логістичними компаніями існує велика кількість задач, для моделювання яких недостатньо використання одного з методологічних підходів, можливим є застосування їх різноманітних комбінацій. Цьому сприяє і наявність потужних програмних платформ підтримки багатопідходного моделювання: наприклад, систем ARENA та AnyLogic [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблемам функціонування логістичної системи країни, виробничої логістики, транспортно-експедиторських / логістичних підприємств присвячено значне коло вітчизняних та зарубіжних літературних джерел. Роботи висвітлюють системні та прикладні питання формування та трансформації основних напрямків діяльності досліджуваних суб'єктів згідно сучасним економічним тенденціям [3-10].

Так, в [3-5] підіймаються питання формування та розвитку логістичної системи на макrorівні. Діяльності суб'єктів галузі на мікрорівні присвячені роботи [6-8]. В роботі [6] зосереджується увага на особливостях функціонування та перспективах розвитку вітчизняних транспортно-логістичних підприємств. Поряд з класифікацією підприємств наведеного типу згідно зі специфікою наданих ними послуг акцент зроблено саме на підприємствах змішаного типу – транспортно-експедиторських, як найбільш розповсюджених у вітчизняній практиці. Проведений аналіз дозволив визначити множину стримуючих чинників розвитку підприємств транспортної галузі та визначитися з необхідним трендом їх подальшого розвитку, за яким важливу роль відіграє приведення українських транспортно-логістичних технологій у відповідність до єдиної загальноєвропейської системи управління транспортними потоками.

Продовження даної проблематики можна знайти в [7], де автором наводиться аналіз діяльності логістичних підприємств в умовах євроінтеграції. Позитивом роботи є визначення нових аспектів підвищення конкурентоспроможності вітчизняних логістичних компаній та пропозиція нових інструментів удосконалення їх діяльності в ході інтеграції в європейський економічний простір.

Важливим прикладним питанням – наприклад, формуванню витрат логістичних компаній – присвячені роботи [9-10]. Так, в [9] проаналізовано комплекс факторів (як зовнішніх, так і внутрішніх), що впливають на формування витрат з надання логістичних послуг. Особливий акцент зроблено на впливах факторів, пов'язаних з військовими діями та іншими форс-мажорними обставинами. Окреслені ризики, притаманні сучасному стану економіки та розширенню логістичних потоків з країнами Європи. Позитивом є розробка авторами рекомендацій щодо оптимізації витрат в умовах системного урахування комплексу негативних факторів й ризиків.

Окремо слід виділити коло публікацій, присвячених використанню математичного інструментарію та інформаційних технологій для розв'язання різноманітних задач, притаманних логістичній галузі та, зокрема, діяльності логістичних компаній [11-15]. З цього приводу слід відокремити роботу [11], головним позитивом якої здається представлення оригінальної авторської класифікації економіко-математичних методів та моделей в даній предметній області. Наведена класифікація сприяє наочній ідентифікації відповідних математичних інструментів для розв'язання конкретних класів прикладних задач логістики.

З точки зору використаного математичного апарату викликає інтерес робота [14], де за допомогою методів нечіткої логіки розв'язуються питання дослідження пасажиропотоків на конкретних ділянках транспортної мережі. Використання даного інструментарію дозволяє досягати мінімізації часу обслуговування клієнтів та максимізувати рівень їх задоволеності транспортним маршрутом. Постановочно залучення апарату нечіткої логіки може стати у пригоді для організації будь-яких маршрутів в логістичних ланцюгах в процесі їх обслуговування логістичними компаніями. Позитивом є можливість оперування неточними поняттями та алгоритмічна можливість розв'язання задач в умовах неповної/неточної інформації.

Можливостям застосування хмарних технологій в логістиці / діяльності логістичних компаній присвячена робота [15], де вдало акцентується увага на перевагах впровадження хмарних рішень для підвищення ефективності реалізації логістичних функцій. Робота у хмарі дуже важлива і для проведення імітаційних експериментів, значно підвищуючи їх оперативність та гнучкість. Це також сприяє підтримці розвитку напрямку використання імітаційних технологій в моделюванні суб'єктів логістичної діяльності. Так, в [16] пропонується хмарна платформа імітаційного моделювання (CSP), як новий спосіб підвищення ефективності проведення імітаційних модельних експериментів. Прикладом імітаційних моделей, що працюють на хмарній платформі, є розробка в області складської логістики, представлена в [17]. Пропонується гібридна імітаційна модель для оптимізації складських операцій Amazon Warehouse Yard.

Методологія імітаційного моделювання та прикладні додатки в галузі логістики розглядаються у значному колі літературних джерел [18-26]. В якості вдалого поєднання теорії та практики слід навести роботу [18], де не тільки розкривається методологія застосування головних парадигм імітації, але і наводяться постановки й реалізації конкретних модельних додатків, серед яких значне місце належить задачам логістики. До того ж електронна книга постійно поповнюється новими наробками, що існують у даній галузі.

Дослідження в галузі фармацевтичної логістики представлені в [19]. Наведено промислові модельні додатки, побудовані з використанням дискретно-подієвої парадигми імітації. Здійснюється імітація різних типів каналів збуту фармацевтичних компаній. Базою реалізованих імітаційних експериментів виступила фармацевтична компанія «ФАРМАК».

Узагальнений підхід до побудови моделі логістичної системи представлено в [20]. Для створення типової моделі логістичної системи пропонується використання трирівневого комплексу моделей із застосуванням основних парадигм імітації. В якості прикладу запропонована мультипродуктова модель для оцінки базових показників ефективності логістичної системи, реалізована на програмній платформі Arena. Наведений в роботі підхід викликає інтерес, перш за все, у плані постановки і може бути частково використаний при моделюванні логістичних компаній, як цілісних систем.

Моделюванню діяльності міжнародної логістичної компанії присвячена робота [21], в якій представлена імітаційна модель надання експедиторських послуг. Модель реалізована у нотаціях подієво-процесного підходу в системі імітаційного моделювання GPSS World. У постановочному плані модель концентрується на дослідженні ефективності роботи компанії за рахунок оптимізації організаційної структури робочого процесу. Розробники пропонують використання моделі в сфері підвищення ефективності організації роботи логістичної компанії щодо надання експедиторських послуг. Модель є класичною моделлю масового обслуговування, сприяє розв'язанню важливого прикладного завдання, але без виходу на розрахунки кінцевих показників діяльності компанії.

Розробці імітаційної моделі діяльності транспортно-експедиторського підприємства по організації міжнародних автомобільних перевезень присвячена робота [22]. Модель зосереджена на плануванні роботи підприємства з різними категоріями замовників, зокрема, на ефективному забезпеченні взаємодії експедиторів із замовниками різних видів транспортно-експедиторських послуг. При побудові моделі використана дискретно-подієва парадигма імітації з програмною реалізацією на платформі системи GPSS World. Результатами моделювання є показники ефективності роботи компанії в розрізі відповідних категорій замовників. Головний акцент зроблено на показниках пропускної спроможності підприємства, тривалості обслуговування, надійності надання послуг. За допомогою моделі можливо більш ефективно вирішувати кадрові питання в компанії. Наведені завдання є, безумовно, одними з найважливіших в роботі компаній даного типу. Однак, експериментальні результати не охоплюють динаміку комплексу кінцевих показників (в тому числі, фінансових) функціонування підприємства.

В ході моделювання транспортно-експедиторських фірм важливим питанням є прогнозування попиту на відповідні послуги. Фактично – це відправна точка в моделях ланцюгів постачання. В цьому контексті викликає інтерес дослідження, представлене в [23]. Автором запропоновано підхід до оцінки параметрів попиту на транспортно-експедиторські послуги шляхом звернення до логістичних інтернет-порталів; представлена модель попиту на відповідні послуги. Доводиться високий ступінь збіжності даних, отриманих в результаті моделювання, та емпіричної інформації.

В якості ще одного прикладу розв'язання проблеми в умовах невизначеного попиту можна навести роботу [24]. Модель оптимізації логістики для управління невизначеним попитом в ланцюгах постачання реалізована на базі агентної парадигми з використанням ГІС карт.

Застосуванню системно-динамічного підходу до використання технології блокчейн щодо покращання прогнозування попиту в управлінні ланцюгами постачання присвячена робота [25]. Отримані результати моделювання доводять, що впровадження блокчейна сприяє зниженню прогнозних помилок, внаслідок чого знижуються операційні витрати.

Достатньо уваги приділяється також моделям складської логістики, що також є необхідним аспектом функціонування логістичних компаній з погляду організації ними логістичних ланцюгів. З даного приводу доцільно зробити посилання на актуальний огляд модельних додатків, наведений в [26].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

З наведеного огляду видно, що проблемам функціонування логістичних компаній приділяється значна увага як в економічній літературі, так і в професійних джерелах з математичного моделювання. Однак, широкі межі предметної області, її висока мінливість / невизначеність поряд з необхідністю врахування впливів величезної кількості факторів різної природи та численних ризиків постійно висувають все нові завдання, які потребують розв'язання. Згідно з цим підтримка логістичних процесів в актуальному стані передбачає перманентне проведення досліджень з підвищення ефективності діяльності суб'єктів логістичного ринку.

Імітаційне моделювання вже знайшло своє місце в базі математичних інструментів дослідження, про що свідчать як теоретичні здобутки, так і прикладні додатки, існуючі в сфері логістики. Однак, не можна вважати системно охопленими основні питання, пов'язані з суб'єктами даної галузі.

Аналіз діяльності логістичних компаній, прогноз розвитку їх бізнес-процесів на різну перспективу є значною нішею для застосування імітаційних моделей-тренажерів. Гнучкість логістичних процесів, що відчувають на собі значні впливи внутрішнього й зовнішнього оточення, потребує такого ж гнучкого інструментарію дослідження, до якого й належать технології імітації.

Згідно з наведеним дослідження можливостей застосування імітаційних моделей в діагностиці діяльності логістичних компаній є актуальними.

Метою статті є представлення імітаційної моделі діагностики основних результатів діяльності логістичної компанії на задану експериментатором перспективу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Провайдери логістичних послуг за міжнародною класифікацією поділяються на п'ять основних груп – FirstPartyLogistics; SecondPartyLogistics; ThirdPartyLogistics; FourthPartyLogistics; FifthPartyLogistics. Функції суб'єктів кожної групи наведені у табл.1. Вітчизняному ринку логістичних послуг найбільш притаманні перші три групи (1PL, 2PL, 3PL).

Таблиця 1. Класифікація логістичних провайдерів

Група	Основні функції
1. FirstPartyLogistics (1PL)	Автономна логістика: всі операції виконує вантажовласник.
2. SecondPartyLogistics (2PL)	Традиційні послуги перевезення та управління складськими приміщеннями.
3. ThirdPartyLogistics (3PL)	Традиційні функції та додаткові послуги: розробка систем, перевантаження, обробка вантажів, використання послуг субпідрядників.
4. FourthPartyLogistics (4PL)	Управлінська логістика: постачальник займається плануванням та управляє логістичними процесами компанії-клієнта.
5. FifthPartyLogistics (5PL)	Інтернет-логістика, тобто управління ланцюгом поставки вантажів відбувається за допомогою електронних засобів інформації.

Джерело: складено автором за матеріалами [6]

Особливо розповсюджена група 3PL, за якою логістична компанія виконує не тільки функції перевезення вантажів, але й всі функції, пов'язані з організацією перевезень. В узагальненому вигляді функції таких компаній зведені до постійного моніторингу й пошуку, з одного боку, замовників перевезень (вантажовласників), а з іншого боку, перевізників. Обидві агрегативні функції передбачають виконання достатньо широкого спектру операцій, пов'язаних з доставкою вантажів з пунктів відправлення до відповідних пунктів призначення (з можливим проходження перевалочних пунктів впродовж маршрутів перевезення, в тому числі, перевантаження вантажів на інші види транспорту, організація складування/зберігання вантажів тощо). До того ж логістична компанія відповідає за доставку вантажів у непошкодженому вигляді, в конкретні (встановлені за договорами) часові терміни, страхування вантажів, оформлення повного комплексу супровідної документації (товарно-транспортних документів, договорів зі всіма учасниками процесів транспортування/складування/перевалки) та т. і.

Згідно з цим логістична компанія прагне до оптимізації/мінімізації витрат. Спектр послуг дуже широкий і може мати безліч варіацій. Окрім цього, коло функцій логістичних компаній даного типу постійно розширюється, що закономірно відбувається на тлі розширення та збільшення гнучкості ринку логістичних послуг загалом. Успішність логістичної компанії залежить не тільки від наявності постійних клієнтів, але і від наявності зв'язків з представниками різних секторів ринку логістичних послуг.

Головне призначення логістичних компаній даного типу – забезпечити ефективне функціонування логістичної мережі при максимальному поєднанні інтересів всіх учасників процесів. Водночас, динаміка функціонування успішних логістичних компаній характеризується гнучкістю, нарощуванням (постійним пошуком) нових клієнтів; розширенням спектру послуг, що надаються; розширенням кола надійних перевізників.

Таким чином, основні результати діяльності логістичної компанії пов'язані зі ступенем інтенсивності залучення клієнтів та ефективністю їх обслуговування. Коло дослідження при цьому є достатньо широким. Векторами можуть бути різноманітні процеси, пов'язані з маркетинговими стратегіями дослідження ринку логістичних послуг; технологіями залучення клієнтів; організацією логістичних ланцюгів; співпрацею з транспортними біржами; технологіями дотримання умов транспортування й зберігання вантажів, їх доставка точно у встановлені строки та ін.

В запропонованій імітаційній моделі відтворюються процеси формування основних результатних показників роботи логістичної компанії на будь-яку задану перспективу. Розглянемо процеси, що моделюються, в дещо узагальненому вигляді.

Згідно з цим розглядаються наступні кінцеві показники функціонування логістичної компанії:

- загальна кількість клієнтів, які звернулися до компанії;
- кількість втрачених клієнтів в процесі оброблення замовлень;
- загальна кількість обслугованих клієнтів/виконаних замовлень;
- дохід компанії;
- витрати компанії;
- прибуток компанії.

У зв'язку з генерацією в моделі всіх необхідних кількісних, вартісних та часових параметрів визначаються в динаміці витрати, доходи та прибутки компанії.

Модель реалізована на тлі багатопідходної парадигми імітації – дискретно-подієвої та агентної. Надходження клієнтів та їх просування крізь процеси обробки та задоволення замовлень (здійснення поставок) реалізується за допомогою дискретно-подієвої парадигми. Це має сенс завдяки необхідності досягнення деталізованого руху подій.

З іншого боку в моделі наявні сутності, що рухаються – клієнти/замовлення: вони представлені у вигляді агентів. Агенти належать до класу Client і характеризуються низкою параметрів – рис. 1.

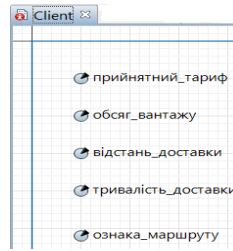


Рисунок 1. Параметри агентів класу Client
Джерело: власна розробка автора

Загальний вигляд моделі представлено на рис. 2.

Постановка задачі полягає у наступному.

Клієнти звертаються до логістичної компанії: цей процес відбувається динамічно у часі і представляє собою потік, що генерується як стохастична величина (потенційні клієнти). Кожний клієнт має власні вимоги, що стосуються обсягів вантажів, які підлягають перевезенню; відстані/маршрут доставки до пункту призначення; тривалості доставки/бажаний час доставки до пункту призначення; прийнятних тарифів на забезпечення процесу доставки. Можливі також специфічні вимоги клієнтів.

Потенційні клієнти стають у чергу (черга_клієнтів) на розгляд замовлень компанією (попередній розгляд замовлень), який може тривати деякий час, що залежить, зокрема, від наявних кадрових ресурсів. На цьому етапі передбачається можливість втрати клієнтів (втрата_клієнтів_черга), які не дочекалися обслуговування та пішли з компанії. Клієнти, які залишаються, потрапляють на попередній розгляд замовлень – процес триває деякий час і визначається стохастично.

Наступним етапом є перевірка компанією відповідності вимог клієнтів її реальним можливостям (перевірка параметрів). Якщо має місце розбіжність хоча б по одному з параметрів клієнти лишають дану логістичну компанію та звертаються до конкурентів. Згідно з цим необхідно передбачати втрати клієнтів на цьому етапі теж (втрата_клієнтів_НП).

Логістична компанія може мати різну архітектуру. В даному випадку приймається наявність головного офісу та двох філій. Згідно умовам задачі в межах наступних експериментів йдеться про висновки стосовно ефективності такої архітектури та можливостей/доцільності її змінення.

Схвалені замовлення розподіляються між головним офісом компанії та її філіями (вибір_ГО_філія / вибір_філії) згідно з тим, який з офісів на поточний час є вільним та спроможним обробляти супровідну документацію щодо замовлення. Оформлення триває деякий час (оформлення_ГО / оформлення_філія_1 / оформлення_філія_2), після чого активним стає етап очікування перевезення (очікування_перевезення / очікування_перевезення1 / очікування_перевезення2). Мається на увазі, що компанія шукає перевізників, звертаючись до конкретних агенцій, роблячи моніторинг транспортної біржі, оголошуючи тендери або користуючись власним транспортом та ін. Водночас, на цьому етапі також може відбутися втрата замовлень (втрата замовлень), якщо клієнти не дочекаються результату: компанія повинна діяти оперативно, але можливі і форс-мажорні обставини та різноманітні ситуації, пов'язані з різними типами ризиків.

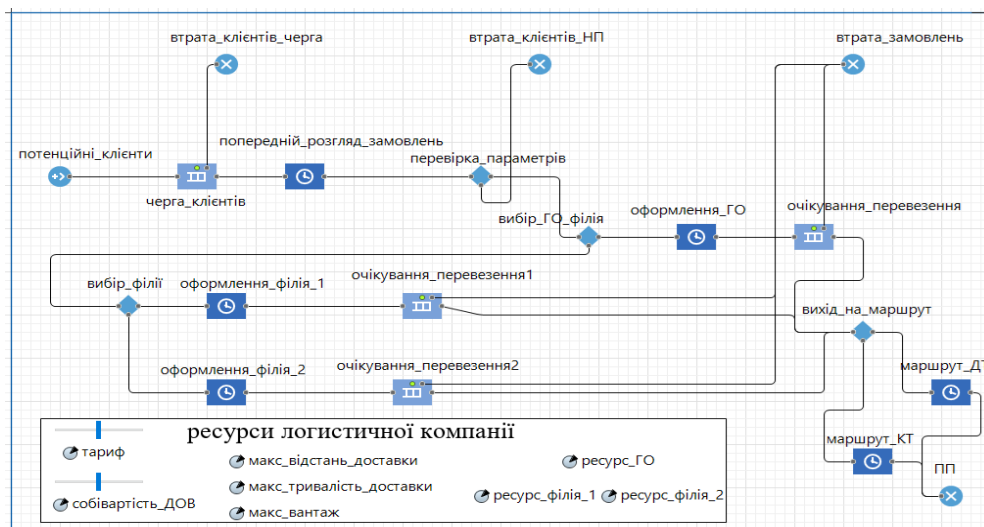


Рисунок 2. Загальний вигляд моделі процесів формування результатів діяльності логістичної компанії
Джерело: власна розробка автора

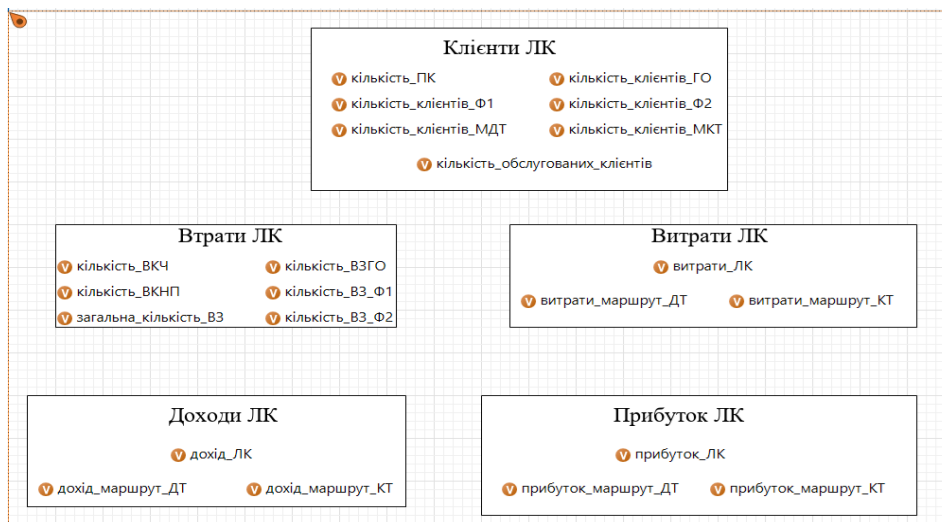


Рисунок 2. Продовження
Джерело: власна розробка автора

Наступний етап – реалізація перевезень/вихід на маршрут (вихід_на_маршрут). Умовно всі маршрути в задачі розбито на дві групи – довготривалі (маршрут_ДТ) та короткотривалі (маршрут_КТ). В обох випадках передбачається затримка у часі згідно часових параметрів, притаманних конкретному замовленню. Кінцевий етап – доставка вантажів до пункту призначення (ПП).

Таким чином, модель надає можливість оцінити рівень основних показників функціонування логістичної компанії-об'єкту дослідження. Рівень деталізації процесів в даній версії моделі є достатньо високим, але він може ще більш поглиблюватися.

Так, легко відокремлюється інформація стосовно конкретних замовлень: витрати по доставці вантажів, доходи та прибутки компанії. Можливо вводити калькуляцію конкретних витрат, що надасть можливість у майбутньому оцінити ті витратні статті, що є найбільш вагомими для компанії. Заходи щодо їх зниження допоможуть знизити рівень загальних витрат та підвищити прибуток.

Дана версія не розглядає поставки вантажів по конкретним маршрутам на всьому їх протязі: замовлення групуються по двом групам: довготривалі маршрути та короткотривалі маршрути. Хоча при обчисленні значень відповідних показників при цьому використовуються індивідуальні параметри окремих замовлень (індивідуальні значення параметрів агентів), їх «наочне» проходження відсутне. Водночас, головний блок моделі може бути продовжений з відтворенням головних відрізків маршрутів, перевалочних пунктів (з визначенням їх наявних ресурсів, в тому числі, складів зберігання вантажів). Це може надати ще більшу деталізацію імітації логістичних процесів із визначенням відповідних «вузьких місць». Крім того, з'явиться додаткова можливість дослідити можливі відхилення від нормативного проходження вантажів по ланцюгам поставок. Встановлення спеціальних елементів системи, які дозволяють оцінити тривалість часу знаходження як загалом на всьому маршруті, так і на його відрізках, допоможе виявити відхилення щодо часу поставок, необхідного замовникам. Імітація стохастичних збурюючих впливів, що зволікають відхилення від нормального ходу процесів (непередбачені часові затримки), дозволять заздалегідь вжити відповідні заходи щодо усунення їх наслідків.

Деталізація моделі може бути ще більш продовжена згідно ситуаціям, що можуть виникнути в діяльності реальних компаній, працюючих на ринку логістичних послуг.

Імітаційні експерименти проводилися за матеріалами Grant Logistic Group – відомого конгломерату компаній, що працює на ринку логістичних послуг з 2009 року [27]. Належить до Third Party Logistics, що надає комплексні 3PL послуги. Компанія функціонує на ринку транспортної та складської логістики; володіє як власним автотранспортом, так і орендує транспорт й користується послугами сторонніх перевізників. Така ж система має місце і в сфері складської логістики: у компанії є власні склади та паралельно здійснюється оренда необхідних складських приміщень. Серед клієнтів компанії – значне коло різноманітних користувачів логістичних послуг: промислові підприємства різних галузей, торговельні підприємства, організації різного профілю й фізичні особи. Особливе місце займає досвід компанії у сфері холодної логістики: у Київській, Одеській, Дніпропетровській областях компанія володіє системою складів, оснащених згідно вимогам холодної логістики.

Функціонування розробленої моделі продемонструємо в розрізі проведення ситуаційних імітаційних експериментів. Постановки завдань, що відтворюються на моделях, відображають господарчі ситуації, які можуть виникнути в діяльності типової логістичної компанії. Згідно з цим здійснюється параметричне налаштування моделей за конкретними умовами. На базі моделі здійснюється діагностика доцільності приєднання до групи Grant Logistic ще однієї фірми, профілем якої є транспортна логістика.

Ситуація 1.

Архітектура компанії складається з головного офісу та двох філій. Приймається, що кадрові ресурси розподілені рівномірно між структурними підрозділами. Надходження клієнтів здійснюється достатньо інтенсивно – генерація надходжень за трикутним законом розподілу: $\text{triangular}(0.3, 0.6, 0.9)$ (в днях). Генеруються замовлення значної тоннажності за рівномірним законом розподілу: $\text{uniform}(500,1000)$ (в тонах). Можливий діапазон замовлених відстаней становить $\text{uniform}(100, 1500)$ (км.). Бажана тривалість доставки $\text{uniform}(10, 100)$ годин. Компанія пропонує власні можливості, представлені відповідними параметрами. Крок імітації – день. Тривалість одного прогону моделі – 30 днів.

Узагальнений результат експерименту представлений на рис. 3-4. Рисунок 4 – примітка: по осі X представлено час – 30 днів; ось Y – а), б) натуральні одиниці виміру (кількість клієнтів); с), d) – вартісні одиниці виміру (млн. грн.).

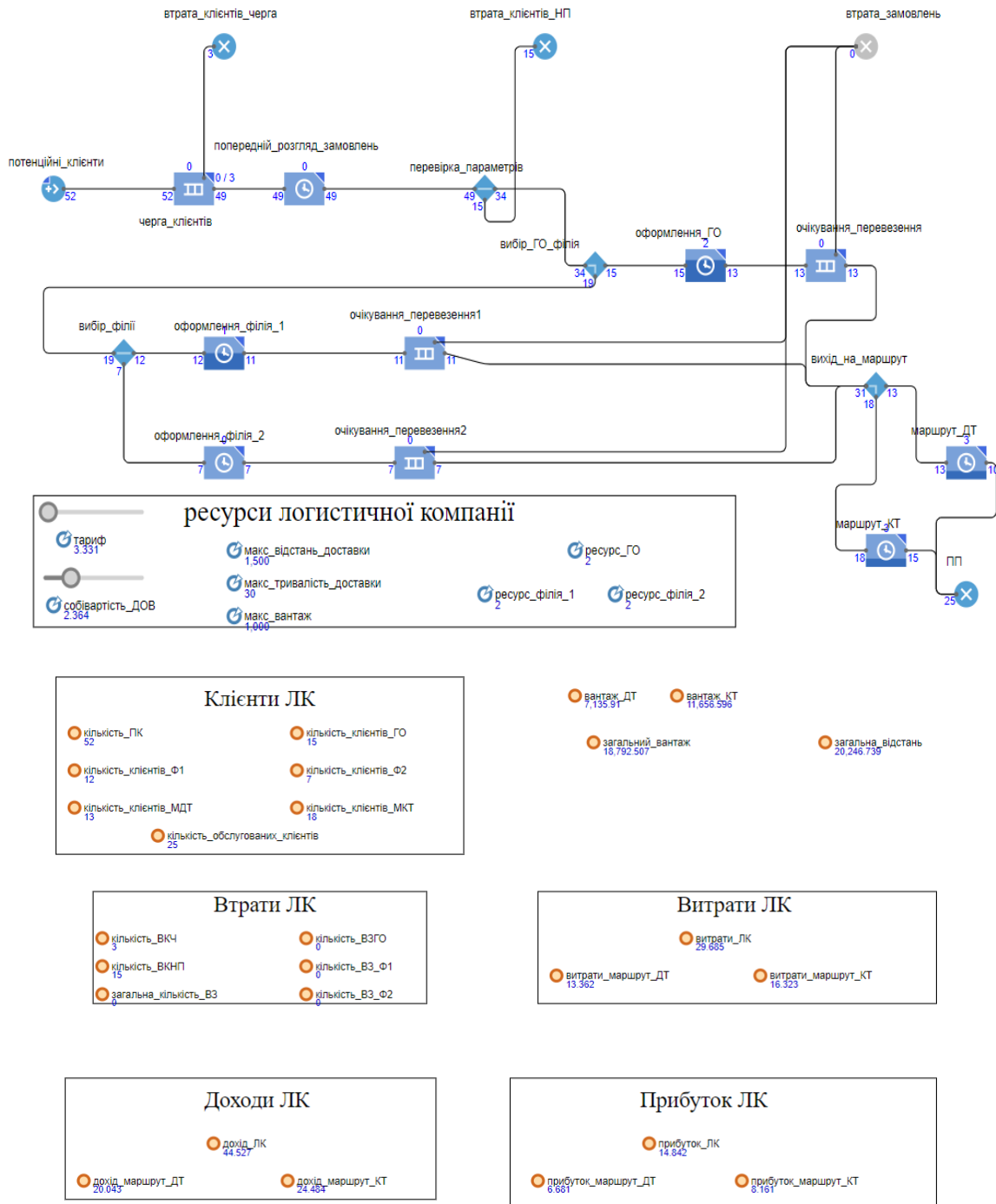


Рисунок 3. Ситуація 1: часовий період – місяць; крок імітації – день
Джерело: власна розробка автора

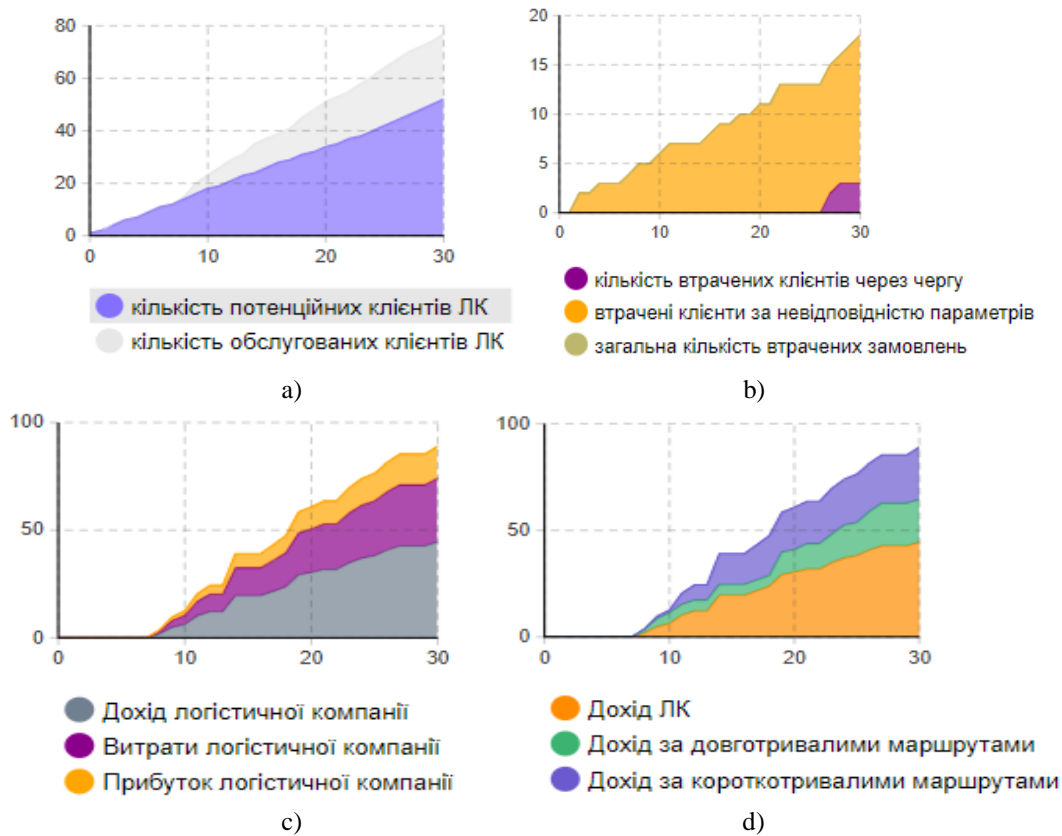


Рисунок 4. Динаміка основних показників роботи логістичної компанії

Джерело: власна розробка автора

Як видно з наведених даних, з 52 клієнтів, що звернулися до компанії, 18 клієнтів було втрачено: 3 клієнта через чергу на попередній розгляд замовлень; 15 клієнтів – через невідповідність вимог клієнтів можливостям компанії. З 34 клієнтів, що зісталися в компанії, на кінець періоду моделювання було обслуговано 25 замовлень.

Втрат клієнтів через очікування перевезень не спостерігалось ні по головному офісу, ні по філіям. Більшість замовлень було обслуговано в головному офісі та в філії 1. Десять замовлень було обслуговано на довготривалих маршрутах, 15 – на короткотривалих.

Компанія протягом місяця перевезла 18793 т. вантажів (626 т. на день). Серед них на довготривалих маршрутах – 7136 т., на короткотривалих – 11657 т. Загальна відстань, яку покрити транспорт компанії протягом місяця – 20247 км.

Наведена динаміка основних показників є позитивною. Що стосується втрати клієнтів через чергу на попередній розгляд замовлень, то така ситуація має місце наприкінці досліджуваного періоду. Окрім цього, наведені втрати можна вважати незначними.

Що стосується причин втрати клієнтів через невідповідність параметрів, то проміжні експерименти довели, що загалом це стосується невідповідності строків поставки (компанії слід попрацювати над підвищенням оперативності здійснення відповідних перевезень) та рівня тарифів (на 1 тонно/км.), які не завжди відповідають фінансовим можливостям клієнтів. Стосовно останнього, компанії слід більш ретельно моніторити цінові пропозиції на ринку логістичних послуг, щоб мати змогу протистояти конкурентам.

Що стосується доцільності функціонування філій компанії, то це потребує додаткового дослідження. При наявній чисельності персоналу (менеджерів-логістів) філія 1 обробляє 11 замовлень, а філія 2 – 7 замовлень порівняно з 13 замовленнями головного офісу. Тобто, кількість оброблених замовлень незначно відрізняється. В таких умовах слід додатково дослідити доходи та витрати, пов'язані з роботою кожного відділення.

При здійсненні даного експерименту з незмінними параметрами отримаємо більш детальну інформацію по показникам головного офісу і філіям – рис. 5.

Доходи, витрати та прибутки по офісам розраховані згідно обробленим ними замовленням, що вийшли на маршрути на кінець модельного часу. Але деякі замовлення ще не були остаточно виконані (вантажі не дісталися до пунктів призначення). Цим пояснюється розходження з величинами показників по компанії загалом (обчислені згідно замовленням), вантажі яких вже дійшли до пунктів призначення.

Отримані дані свідчать, що філії не є збитковими суб'єктами господарювання, а при подальшому збільшенні потоку замовлень в їх роботі може бути сенс. Зміна параметрів експерименту призведе до уточнення цього аспекту діяльності компанії.



Рисунок 5. Ситуація 1: вартісні показники діяльності логістичної компанії
Джерело: власна розробка автора

Ситуація 2.

Змінюється максимальна тривалість доставки вантажів фірми: збільшується оперативність та ритмічність перевезень вантажів; переглянуті деякі маршрути й замінені на більш раціональні. Впроваджена більш гнучка система тарифів. В результаті збільшення парку автотранспорту може бути підвищена верхня межа вантажу, що здатна перевозити компанія. Крок та час імітації залишаються незмінними.

Результати експерименту наведені на рис. 6.

З 54 замовлень, що надійшли до компанії, на кінець місяця були виконані (з доставкою вантажів до пунктів призначення) 35. Втрачено 6 клієнтів внаслідок черги на попередній розгляд замовлень; 6 клієнтів втрачено внаслідок невідповідності вимог замовників та можливостей компанії щодо їх обслуговування. Тобто втрата клієнтів за невідповідністю параметрів зменшилася більше ніж вдвічі.

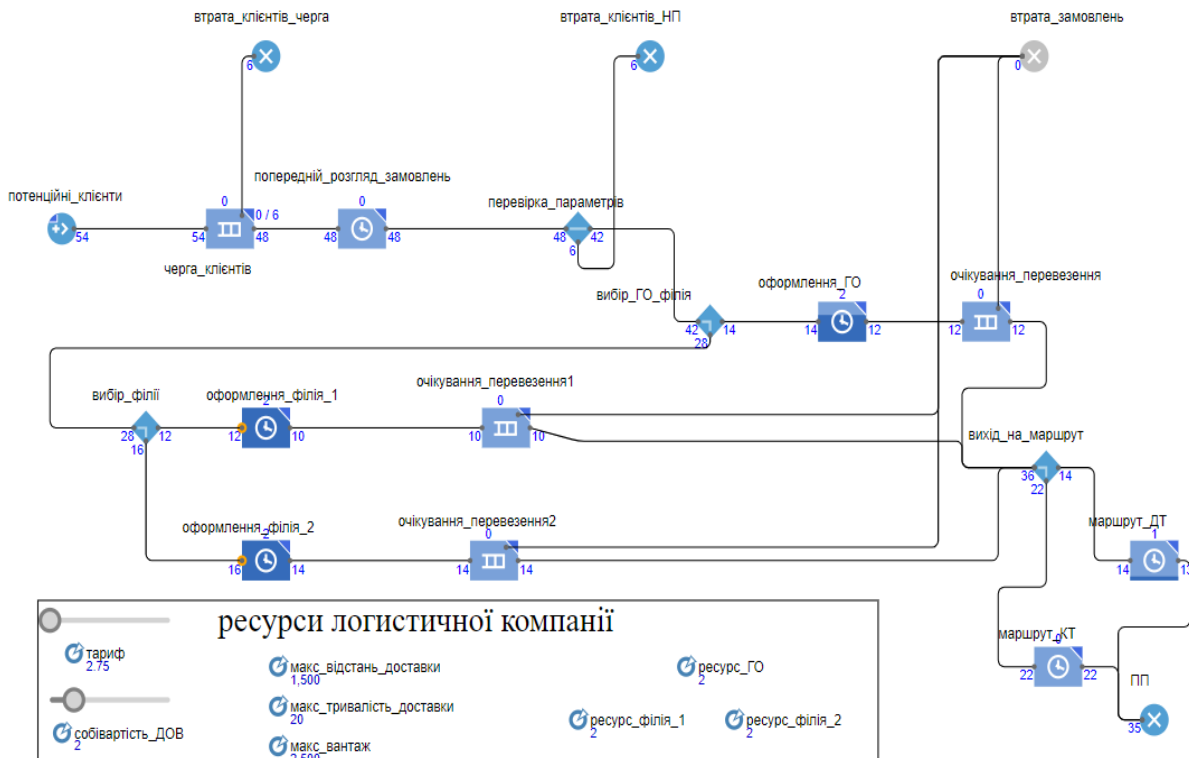


Рисунок 6. Ситуація 2: крок імітації – день, термін – місяць; змінені система тарифів, параметри тривалості доставок, максимальні межі можливих обсягів вантажів

Джерело: власна розробка автора

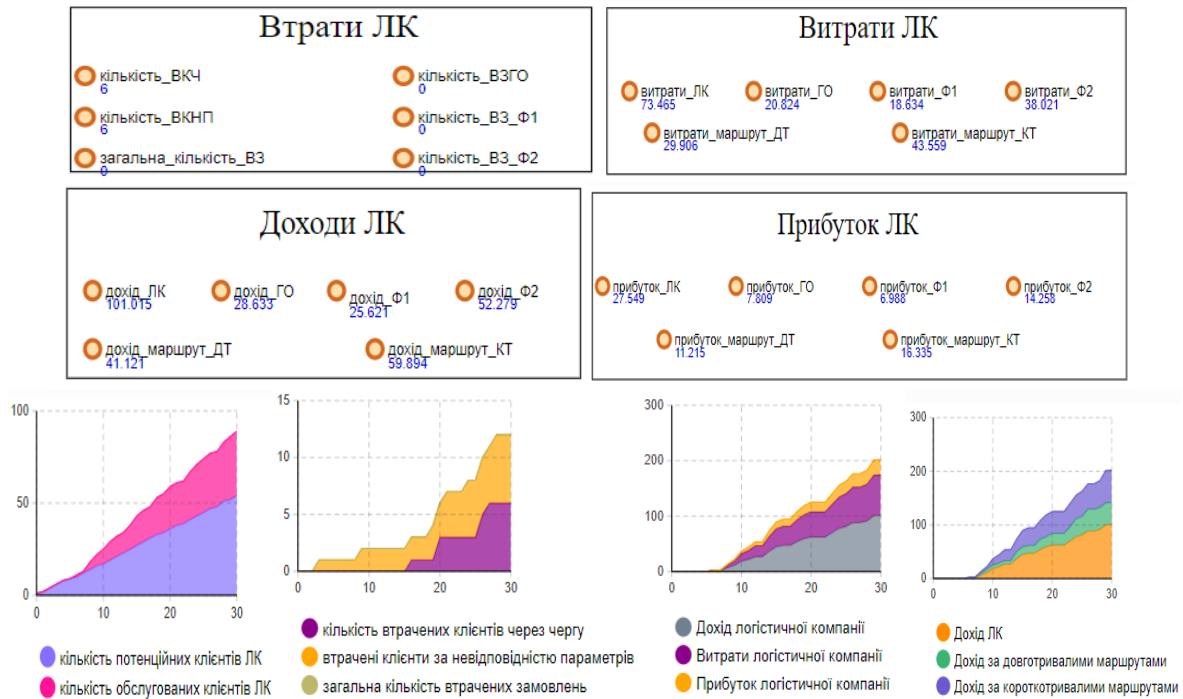


Рисунок 6. Продовження
Джерело: власна розробка автора

Втрати замовників внаслідок очікування перевезення, як і у попередньому експерименті, не спостерігається. Це свідчить про достатність транспортного парку (власного/оренованого) в компанії. На кінець модельного часу у чергах на оформлення документації в головному офісі та в обох філіях перебуває по 2 замовлення, 1 замовлення знаходиться на маршруті (1 довготривалий маршрут).

Динаміка доходів та прибутків логістичної компанії позитивна.

Збільшилася кількість замовників на короткотривалі маршрути, що позитивно відбилося на доходній частині компанії. Водночас, навіть незначне збільшення замовників на довготривалі маршрути оказує значно більший вплив на доходи/прибутки компанії. Тому залучення клієнтів з перевозкою вантажів на значні відстані стане ще більш ефективним з фінансової точки зору.

Загалом фінансовий стан компанії можна вважати цілком задовільним. Достатньо стабільна динаміка кількісних та фінансових показників функціонування компанії сприятиме її сталому розвитку, що підтверджується експериментом, проведеним за більш тривалий часовий період.

Ситуація 3.

Крок імітації – день. Термін імітації – квартал. Отримані результати наведені на рис. 7.



Рисунок 7. Ситуація 3: збільшення періоду імітації (90 днів), крок імітації – день
Джерело: власна розробка автора

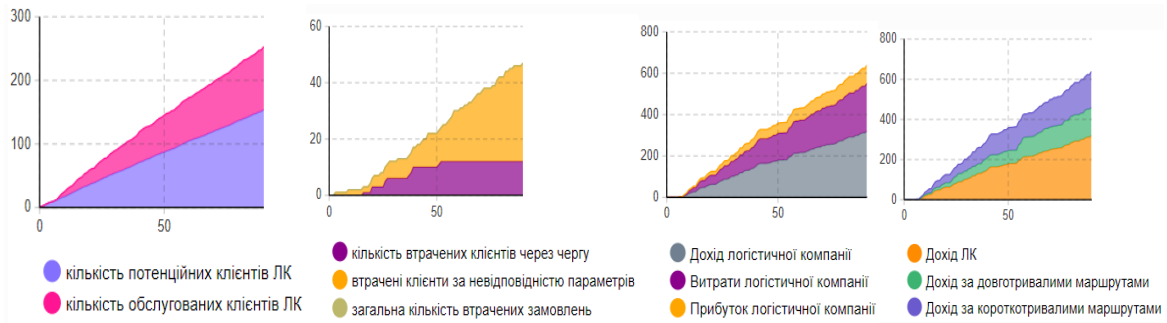


Рисунок 7. Продовження
Джерело: власна розробка автора

Як свідчать отримані дані, динаміка доходної частини зістається позитивною. Серед клієнтів, як і у попередніх експериментах, превалюють замовники на короткотривалі маршрути. Втрати замовників внаслідок очікування перевезень не спостерігається. Цьому сприяє як достатність транспортного парку, так і оперативна робота над оформленням супровідної транспортної документації.

Експеримент на більш тривалий період підтверджує доцільність філій, які значно розвантажують головний офіс і сприяють обслуговуванню значної кількості клієнтів, що звернулися до даної компанії.

«Вузким місцем» в даному випадку є значна кількість втрачених клієнтів внаслідок невідповідності параметрів та наявні клієнти, що втрачаються внаслідок черги на попередній розгляд замовлень. В цьому випадку можна б було рекомендувати дещо переглянути кадрову політику та на відповідних операціях долучити додаткових співробітників. Що стосується невідповідності параметрів, то це перманентний процес завдяки мінливому та дуже гнучкому ринку логістичних послуг, що відрізняється високим рівнем конкуренції.

Ситуація 4.

Експеримент варіації параметрів: тариф, собівартість перевезення одиниці вантажу, кадровий ресурс головного офісу логістичної компанії.

Окрім стандартних експериментів, на моделі-тренажері можливо проведення такого типу експериментів, як варіації параметрів. В межах таких експериментів можливо визначати діапазони варіації параметрів впливу на деякий кінцевий показник. Результат реалізації такого експерименту – можливість простежити динаміку кінцевого показника на тлі динаміки параметрів, що впливають на нього.

Результати експерименту наведені на рис. 8. По осі X – часові періоди (квартал – 90 днів); Y – динаміка доходу логістичної компанії в вартісному вимірі.

ParametersVariation : Вплив тарифів та собівартості доставки одиниці вантажу

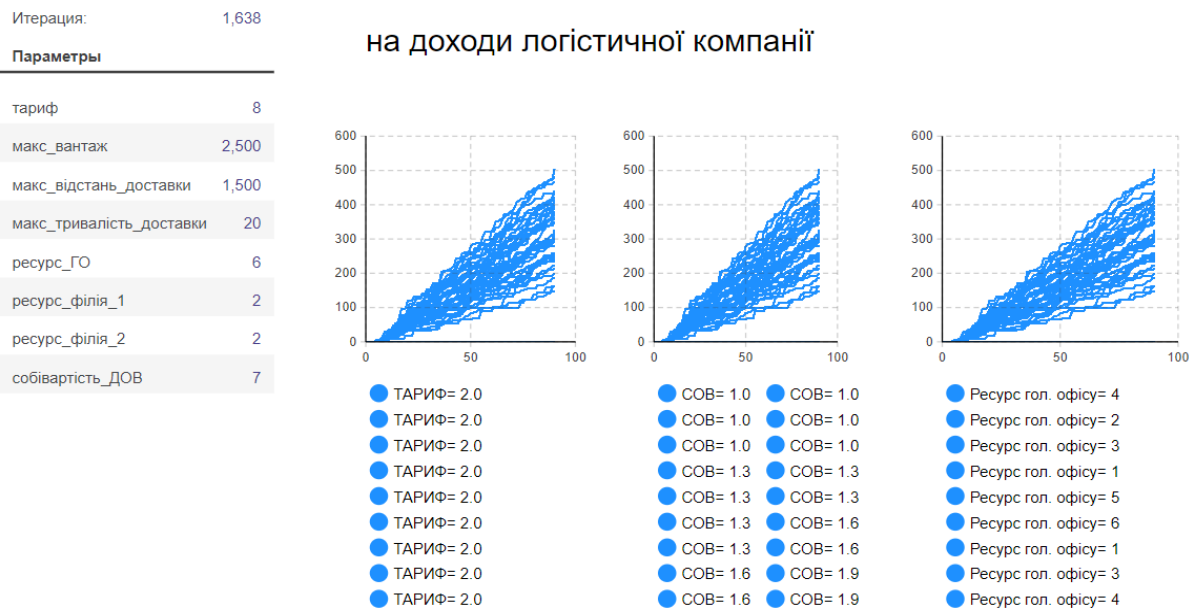


Рисунок 8. Ситуація 4: результати експерименту варіації параметрів
Джерело: власна розробка автора

Таким чином, для конкретних значень параметрів тарифів, собівартості перевезення одиниці вантажу, а також кадрового ресурсу головного офісу менеджери компанії можуть легко відстежити можливі впливи наведених параметрів на її доходність.

Отримані динаміки обраних параметрів та кінцевого показника представляють наочно картину можливих зрушень за позитивними або негативними сценаріями.

Кількість експериментів варіації параметрів, як і всіх інших типів експериментів, в конкретному модельному проєкті є необмеженою. Згідно з цим можливе налаштування експериментів за різними параметрами та відповідними кінцевими показниками як в розрізі офісів/філій, так і по компанії загалом.

Висновки

Наведені приклади використання розробленої моделі доводять її головні можливості, як тренажера в ході здійснення економічної діагностики та прийняття управлінських рішень згідно ситуаціям, що можуть скластися впродовж функціонування логістичної компанії.

В ракурсі поставленої проблеми оцінки можливості приєднання нової компанії до Grant Logistic Group представлені різноманітні аспекти аналізу її діяльності на різну прогностичну перспективу. Застосовано ситуаційний підхід в постановці та проведенні імітаційних експериментів різних типів. Це надає можливість програти на моделі різні сценарії функціонування й оцінити динаміку головних показників, що характеризують ефективність дій компанії.

Виходячи з отриманих даних, здається цілком доцільним приєднання компанії. Остаточні висновки можуть бути зроблені на тлі більшого спектру імітаційних експериментів та відтворення на моделі-тренажері нових ситуацій гнучкого ринку логістичних послуг. Кризові обставини економіки країни, військові дії та інші форс-мажорні ситуації можуть змінювати хід подій у майбутньому. Однак, позитивом модельних імітаційних експериментів залишається можливість відтворити відповідні зрушення реального життя з метою прийняття попереджуючих рішень.

Abstract

Logistics plays an important role in the economy, as one of the essential factors in increasing its competitiveness. At the present stage of development, the domestic logistics industry is experiencing significant problems and obstacles. Since the beginning of the war, traditional logistics networks have been significantly destroyed, routes have been established; damaged or completely destroyed warehouse infrastructure. Complications in the delivery of goods have led to an increase in the costs of logistics companies and a significant increase in risks. Current trends in the recovery and further development of the industry are increasing the level of logistics infrastructure management, automation and digitalization of logistics operations. Making effective management decisions at the level of logistics companies, as important links in the overall logistics system, requires the implementation of economic diagnostics of their activities with the implementation of reasonable forecasts, the definition of sustainable development strategies and promising infrastructure projects. The implementation of diagnostic studies is based on a special mathematical base and modern information technologies. A review of numerous professional sources proves that the existing mathematical base for supporting logistics solutions is powerful, diverse and covers various areas of economic and mathematical modeling. At the current stage, simulation modeling and fuzzy logic methods and artificial intelligence based on them have received special development. A significant niche for the use of simulation simulator models is the diagnostics of the activities of logistics companies with a forecast of the development of their business processes for different time perspectives. The flexibility of logistics processes, which are significantly influenced by the internal and external environment, requires the same flexible research tools as simulation technologies. The applied application of simulation models in the course of economic diagnostics is supported by powerful multi-approach simulation software platforms such as AnyLogic, ARENA. A simulation model for diagnosing the main results of the logistics company's activities for the perspective set by the experimenter is proposed, developed using a combination of two simulation paradigms – discrete-event and agent-based – on the software platform of the AnyLogic multi-approach simulation modeling system. The operation of the model is illustrated by fragments of simulation experiments based on the materials of the logistics company Grant Logistic Group. The given examples of application of the model prove its main capabilities as a simulator in the course of economic diagnostics and managerial decision-making according to situations that may develop during the functioning of a logistics company.

Modularity, openness and parametric settings of the model confirm the possibility of reproducing various scenarios of functioning and assessing the dynamics of the main indicators that characterize the efficiency of a typical logistics company.

Список літератури:

1. Підсумки Українського логістичного форуму (2025). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://logist.fm/PUBLICATIONS/PIDSUMKI-UKRAINIAN-LOGISTICS-FORUM-2025>.
2. Website The AnyLogic company. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.anylogic.com>.
3. Калюжна Н.Г., Шеремет А.С. Логістична система України: актуальні проблеми та пріоритети відновлення. //Бізнес Інформ. 2022. №4. С. 90-96. DOI: 10.32983/2222-4459-2022-4-90-96.
4. Вербицький В.С. Порівняльний аналіз ефективності розвитку логістики в країнах світу. // Економіка та суспільство. 2024. Вип. 67. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-67-4.
5. Корнійко Я.Р., Валявська Н.О., Міхеев О.П. (2024) Аналіз сучасного стану транспортної галузі України у розрізі вантажних перевезень. // Економіка та суспільство, (70) 2024. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-70-70.
6. Комчатних О.В. Особливості функціонування українських транспортно-логістичних підприємств. // Підприємництво і торгівля. № 30, 2021. С. 38-43. DOI: 10.36477/2522-1256-2021-30-06.
7. П'ятничук І.Д., Якубів В.М., Туровська Л.В. Аналіз діяльності логістичних підприємств в умовах Євроінтеграції. //Сталий розвиток економіки. 2024. № 4(51). С. 301-307. DOI: 10.32782/2308-1988/2024-51-42.
8. Przybylska E. Zagadnienie transferu technologii w odniesieniu do przedsiębiorstw usług logistycznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Organizacja I Zarządzanie. 2014. № 70. pp. 397-408.
9. Білик О.І., Замогильний О.Ю., Лапіда О.Б. Фактори формування витрат логістичних підприємств в Україні. // Економіка та суспільство. 2024. Вип. 60. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-60-123.
10. Задорожний З. Логістичні витрати та їх класифікація. Вісник Тернопільського національного економічного університету. 2017. Вип. 2. С. 109-117.
11. Романич І.Б., Тимчишин С.О., Логойда-Копик М.Р. Математичні методи в логістиці: аналіз, класифікація, прикладові моделі. // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». Вип. 53. 2024. С. 53-62. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2024-53-8.
12. Козаченко Д.М., Германюк Ю.М. Математична модель для дослідження перевезення вантажів у міжнародному сполученні. //Транспортні системи та технології перевезень. 2013. № 5. С. 28-32. DOI: 10.15802/tstt2013/19273.
13. Сергеев О., Ус С. Аналіз сучасних підходів до розв'язання дискретних та неперервних багатоетапних задач розміщення. //Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security. 2023. № 2. С. 59-70.
14. Козачок Л.М., Козачок А.Є. Побудова математичної моделі процесів роботи транспортних систем з використанням методів нечіткої логіки. Socio-economic research bulletin. 2021. № 3-4 (78-79). С. 98-106. DOI: 10.33987/vsed.3-4(78-79).2021.98-106.
15. Марінов Є.А., Лісеній Є.В. Роль хмарних технологій в управлінні логістичними операціями. // Бізнес Інформ. 2024. №9. С. 94-100. DOI: 10.32983/2222-4459-2024-9-94-101.
16. Vaidya R., Mittal A., Nanaware G. (2024). Cloud based simulation platform (CSP): a novel way to democratize simulation based experimentation. // Proceedings of the 2024 Winter Simulation Conference. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://informs-sim.org/wsc24papers/con184.pdf>.
17. Farhan M., Ngoko P., Halawa F., Mohammed R. (2024) A Cloud-Based Hybrid Simulation Model for Amazon Warehouse Yard Operations Optimization // Proceedings of the 2023 Winter Simulation Conference. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.anylogic.com/resources/articles/?type=industry&tag=logistics>.
18. Vorshchev A., Grigoryev, I. (2024) The Big Book of Simulation Modeling. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.anylogic.com/resources/books/big-book-of-simulation-modeling>.
19. Соколовська З.М. Імітаційні моделі фармацевтичної логістики // Економіка: реалії часу. 2024. № 4 (74). С. 99-110. DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11
20. Самостян В.Р. Ефективне використання підходів для імітаційного моделювання логістичних процесів. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2020. № 2(15). С. 127-133. DOI: 10.36910/automash.v2i15.400.
21. Harbacheuskaya Y., Kravchenya I. (2022). Simulation modeling of freight forwarding services rendered by an international logistics company. // Modern Engineering and Innovative Technologies, 1 (22-01), 141-145. DOI: 10.30890/2567-5273.2022-22-01-041.
22. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Roi, M., Medvediev, I., Sotnikova, T., & Hrevtsov, S. (2023). Development of a simulation model of the activities of a transport and forwarding enterprise in the organization of international road cargo transportation. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(3 (126), 6-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291039.
23. Vitalii Naumov (2018) Modeling Demand for Freight Forwarding Services on the Grounds of Logistics Portals Data // Transportation Research Procedia Volume 30, 2018, Pages 324-331. DOI: 10.1016/j.tpro.2018.09.035.

24. Petri Helo, Javad Rouzafzoon (2023). An agent-based simulation and logistics optimization model for managing uncertain demand in forest supply chains. // *Supply Chain Analytics*. Volume 4, December 2023, 100042. DOI: 10.1016/j.sca.2023.100042.
25. SeyyedHossein Barati (2025) A system dynamics approach for leveraging blockchain technology to enhance demand forecasting in supply chain management // *Supply Chain Analytics* Volume 10, June 2025, 100115. DOI: 10.1016/j.sca.2025.100115.
26. Saini, R., Vaidya, O.S., & Venkitasubramony, R. (2025). Simulation to analyse warehouse operational performance: a systematic literature review. // *Journal of Simulation*, 1-27. DOI: 10.1080/17477778.2025.2485231.
27. Офіційний сайт Grant Logistic Group. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://trade.master.ua/company/grand-logistic/page/o_kompanii/0.

References:

1. Ukrainian Logistics Forum. (2025). Summary of the Ukrainian Logistics Forum (2025). Retrieved from: <https://logist.fm/publications/pidsumki-ukrainian-logistics-forum-2025> [in Ukrainian].
2. The AnyLogic Company. (n.d.). Official website. Retrieved from: <http://www.anylogic.com> [in English].
3. Kalyuzhna, N.H., & Sheremet, A.S. (2022). The logistics system of Ukraine: Current problems and priorities for recovery. *Business Inform*, 4, 90-96. DOI: 10.32983/2222-4459-2022-4-90-96 [in Ukrainian].
4. Verbytskyi, V. S. (2024). Comparative analysis of the effectiveness of logistics development in the world. *Economy and Society*, 67. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-67-4 [in Ukrainian].
5. Korniko, Y.R., Valiavska, N.O., & Mikheiev, O.P. (2024). Analysis of the current state of the transport industry of Ukraine in the context of freight transportation. *Economy and Society*, 70. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-70-70 [in Ukrainian].
6. Komchatnykh, O. V. (2021). Features of the functioning of Ukrainian transport and logistics enterprises. *Entrepreneurship and Trade*, 30, 38-43. DOI: 10.36477/2522-1256-2021-30-06 [in Ukrainian].
7. Piatnychuk, I.D., Yakubiv, V.M., & Turovska, L.V. (2024). Analysis of the activities of logistics enterprises in the context of European integration. *Sustainable Development of the Economy*, 4(51), 301-307. DOI: 10.32782/2308-1988/2024-51-42 [in Ukrainian].
8. Przybylska, E. (2014). The issue of technology transfer in relation to logistics service enterprises. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Series Organization and Management*, 70, 397-408 [in Polish].
9. Bilyk, O.I., Zamohylnyi, O.Yu., & Lapida, O.B. (2024). Factors of cost formation of logistics enterprises in Ukraine. *Economy and Society*, 60. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-60-123 [in Ukrainian].
10. Zadorozhnyi, Z. (2017). Logistics costs and their classification. *Bulletin of Ternopil National Economic University*, 2, 109-117 [in Ukrainian].
11. Romanych, I.B., Tymchyshyn, S.O., & Lohoida-Kopyk, M.R. (2024). Mathematical methods in logistics: Analysis, classification, applied models. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Economic Sciences Series*, 53, 53-62. DOI: 10.32999/ksu2307-8030/2024-53-8 [in Ukrainian].
12. Kozachenko, D.M., & Hermaniuk, Yu.M. (2013). A mathematical model for the study of freight transportation in international traffic. *Transport Systems and Transportation Technologies*, 5, 28-32. DOI: 10.15802/tstt2013/19273 [in Ukrainian].
13. Serhieiev, O., & Us, S. (2023). Analysis of modern approaches to solving discrete and continuous multistage location problems. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 59-70 [in Ukrainian].
14. Kozachok, L.M., & Kozachok, A.Ye. (2021). Building a mathematical model of transport system operations using fuzzy logic methods. *Socio-Economic Research Bulletin*, 3-4(78-79), 98-106. DOI: 10.33987/vsed.3-4(78-79).2021.98-106 [in Ukrainian].
15. Marinov, Ye. A., & Lisenyi, Ye. V. (2024). The role of cloud technologies in the management of logistics operations. *Business Inform*, 9, 94-100. DOI: 10.32983/2222-4459-2024-9-94-101 [in Ukrainian].
16. Vaidya, R., Mittal, A., & Nanaware, G. (2024). Cloud based simulation platform (CSP): A novel way to democratize simulation based experimentation. *Proceedings of the 2024 Winter Simulation Conference*. Retrieved from: <https://informs-sim.org/wsc24papers/con184.pdf> [in English].
17. Farhan, M., Ngoko, P., Halawa, F., & Mohammed, R. (2024). A cloud-based hybrid simulation model for Amazon warehouse yard operations optimization. *Proceedings of the 2023 Winter Simulation Conference*. Retrieved from: <https://www.anylogic.com/resources/articles/?type=industry&tag=logistics> [in English].
18. Borshchev, A., & Grigoryev, I. (2024). The big book of simulation modeling. Retrieved from: <https://www.anylogic.com/resources/books/big-book-of-simulation-modeling> [in English].

19. Sokolovska, Z. M. (2024). Simulation models of pharmaceutical logistics. *Economy: Realities of Time*, 4(74), 99-110. DOI: 10.15276/ETR.04.2024.11 [in Ukrainian].
20. Samostian, V. R. (2020). Effective use of approaches for simulation modeling of logistics processes. *Modern Technologies in Mechanical Engineering and Transport*, 2(15), 127-133. DOI: 10.36910/automash.v2i15.400 [in Ukrainian].
21. Harbacheuskaya, Y., & Kravchenya, I. (2022). Simulation modeling of freight forwarding services rendered by an international logistics company. *Modern Engineering and Innovative Technologies*, 1(22-01), 141-145. DOI: 10.30890/2567-5273.2022-22-01-041 [in English].
22. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Roi, M., Medvediev, I., Sotnikova, T., & Hrevtsov, S. (2023). Development of a simulation model of the activities of a transport and forwarding enterprise in the organization of international road cargo transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3(126)), 6-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.291039 [in English].
23. Naumov, V. (2018). Modeling demand for freight forwarding services on the grounds of logistics portals data. *Transportation Research Procedia*, 30, 324-331. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.09.035 [in English].
24. Helo, P., & Rouzafzoon, J. (2023). An agent-based simulation and logistics optimization model for managing uncertain demand in forest supply chains. *Supply Chain Analytics*, 4, 100042. DOI: 10.1016/j.sca.2023.100042 [in English].
25. Barati, S.H. (2025). A system dynamics approach for leveraging blockchain technology to enhance demand forecasting in supply chain management. *Supply Chain Analytics*, 10, 100115. DOI: 10.1016/j.sca.2025.100115 [in English].
26. Saini, R., Vaidya, O. S., & Venkitasubramony, R. (2025). Simulation to analyse warehouse operational performance: A systematic literature review. *Journal of Simulation*, 1-27. DOI: 10.1080/17477778.2025.2485231 [in English].
27. Grant Logistic Group. (n.d.). Official website. Retrieved from: https://trademaster.ua/company/grand-logistic/page/o_kompanii/0 [in Ukrainian].

Посилання на статтю:

Соколовська З.М. Математичні інструменти економічної діагностики діяльності логістичних компаній / З.М. Соколовська // Економічний журнал Одеського політехнічного університету. – 2025. – № 3 (33). – С. 147-162. – Режим доступу: <https://economics.net.ua/ejopu/2025/No3/147.pdf>. DOI: 10.15276/EJ.03.2025.17. DOI: 10.5281/zenodo.17243457.

Reference a Journal Article:

Sokolovska Z.M. *Mathematical Tools for Economic Diagnostics of Logistics Companies' Activities* / Z.M. Sokolovska // *Economic journal Odesa polytechnic university*. – 2025. – № 3 (33). – P. 147-162. – Retrieved from: <https://economics.net.ua/ejopu/2025/No3/147.pdf>. DOI: 10.15276/EJ.03.2025.17. DOI: 10.5281/zenodo.17243457.

